



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS**  
**DEPARTAMENTO DE ECOLOGIA E ZOOLOGIA**

**Avaliação dos processos estruturadores de uma  
metacomunidade de aves em dunas costeiras do sul do  
Brasil**

**Laura de Andrade Martins**

**Florianópolis, julho de 2012**

# **Avaliação dos processos estruturadores de uma metacomunidade de aves em dunas costeiras do sul do Brasil**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado  
como requisito para a obtenção do título de  
Bacharel em Ciências Biológicas pelo Centro  
de Ciências Biológicas, Universidade Federal  
de Santa Catarina.

**Laura de Andrade Martins**  
**Orientador: Msc. Andros T. Gianuca**

**Florianópolis, julho de 2012**

## *Agradecimentos:*

*Aos meus pais amor incondicional.*

*A Mãe Terra, pela sua beleza inspiradora e por todas as  
coisas sagradas que me foram oferecidas.*

*A todos aqueles que por sorte, ou por destino, fazem ou fizeram parte da minha vida  
E que quando lembrados por mim, estimulam um sorriso puro e incontrolável.*

## Sumário:

1) Resumo .....	5
2) Introdução .....	6
3) Objetivos .....	8
4) Materiais e Metodologia .....	8
4.1. Área de Estudo .....	8
4.2. Censo de Aves.....	10
4.3. Variáveis Ambientais .....	11
4.4. Variáveis Temporais .....	12
4.5. Análise Estatística .....	13
4.5.1. Geração de Descritores Espaciais .....	13
4.5.2. Partição de Variância .....	13
4.5.3. Seleção de Variáveis Explicatórias .....	13
5) Resultados .....	14
5.1. Riqueza em espécies e abundância .....	14
5.2. Variáveis explicatórias selecionadas .....	15
5.3. Remoção do efeito temporal .....	15
5.4. Partição de variância dos componentes ambientais e espaciais .....	16
6) Discussão .....	19
7) Referências .....	24



## 1) RESUMO

Diferentes paradigmas tentam explicar a estrutura das metacomunidades, e a origem da variação na composição de espécies entre comunidades locais (i.e., diversidade beta). A hipótese “species sorting” enfatiza o papel das características ambientais na composição de espécies, sendo que, quanto mais contrastantes as características dos habitats, maior será a diversidade beta. O modelo neutro, por outro lado, pressupõe que as espécies são ecologicamente equivalentes, e que diferenças na composição de espécies resultam de eventos estocásticos associados à capacidade dispersora das espécies. Este trabalho teve como objetivo, avaliar o papel de processos neutros ou relacionados ao nicho sobre a distribuição das espécies de aves em dunas no sul do Brasil. O estudo ocorreu em diferentes áreas de dunas costeiras na Ilha de Santa Catarina (SC) e no município de Rio Grande, no Rio Grande do Sul (RS). Foi avaliada a abundância de espécies de aves e as características ambientais em 30 parcelas, sendo 15 em SC e outras 15 no RS. Descritores espaciais foram gerados, por meio do método *Principal Coordinates of Neighbour Matrices*. Partição de variância baseada em Redundancy Analysis foi usada para decompor a fração da variação explicada por características ambientais e descritores espaciais. Ao todo, o modelo explicou 18% da diversidade beta de aves em dunas. Aproximadamente 13% da variação foi explicada pelo efeito compartilhado dos componentes espaciais e ambientais, enquanto que os componentes, puramente ambiental e puramente espacial, explicaram 3% e 2% da variação, respectivamente. Assim, concluiu-se que a maior parte da variação na composição de espécies é explicada pelo efeito compartilhado de descritores espaciais e ambientais, representando a fração das variáveis ambientais e da distribuição de espécies de aves estruturada espacialmente. Este resultado corrobora a perspectiva “Species sorting” ao demonstrar que as espécies são afetadas direta ou indiretamente pelas condições ambientais.

**Palavras-chave:** Metacomunidades, diversidade-beta, species-sorting, teoria neutra.

## 2) INTRODUÇÃO

A ecologia de comunidades investiga os padrões de abundância, distribuição e interação dos organismos na natureza. Estes padrões são geralmente determinados por restrições de dispersão dos indivíduos; aspectos inerentes à qualidade dos habitats; e interações nos níveis intra e interespecíficos (Begon *et al.* 2008). No entanto, as comunidades não apresentam limites bem definidos e, na maioria das situações naturais, ocorre uma substituição lenta e gradual dos organismos ao longo de gradientes de fatores físicos (Ricklefs 2003, Begon *et al.* 2008). Compreender os padrões de distribuição das espécies e os processos que fazem a composição de espécies variar em diferentes escalas temporais e espaciais tem sido um objetivo central dos estudos em ecologia.

A abordagem de metacomunidades é uma forma importante de avaliar as relações entre as diferentes escalas espaciais em ecologia. Uma metacomunidade é definida como um conjunto de comunidades locais que são ligadas por dispersão de espécies que potencialmente interagem (Wilson 1992, Leibold *et al.* 2004). Diferentes teorias tentam explicar a variação na composição de espécies entre comunidades locais (i.e., diversidade beta, Whitaker 1960) de uma metacomunidade.

De acordo com a hipótese “*species sorting*”, que tem suas raízes na teoria do nicho, as espécies possuem íntima associação com as características ambientais, (Leibold 2004, Legendre *et al.* 2005). Nessa perspectiva, o mosaico de condições ambientais em uma paisagem influencia fortemente a composição de espécies, e quanto mais contrastantes as características dos habitats, maior será a diversidade beta (Whittaker 1960). Assim, os habitats servem como filtros que selecionam a partir de um pool regional de espécies, um subgrupo com as características que lhes permitem a melhor exploração de recursos, levando à extinção local das espécies menos aptas a ocorrerem na comunidade (Keddy 1992).

Por outro lado, o modelo neutro de metacomunidades postula que as espécies são ecológicamente equivalentes e diferenças na composição de espécies entre locais são criadas por eventos estocásticos e pelas diferentes capacidades de dispersão das espécies (Hubbell 2001, Rosindell *et al.* 2011). De acordo com o modelo neutro, quanto maior a distância entre as comunidades locais de uma metacomunidade, maior será a diferença na composição de espécies entre elas.

O estudo da variação na composição de espécies ao longo de um gradiente de isolamento geográfico, assim como ao longo de gradientes ambientais, permite inferir se a distância geográfica ou a estrutura dos habitats possui papel preponderante sobre a diversidade beta, e é este o contexto do presente estudo.

Compreender quais processos (relacionados ao nicho ou à neutralidade) originam e mantêm a diversidade beta em distintas escalas dentro de uma região de interesse possui significado prático para a Biologia da Conservação, no planejamento e manejo de reservas biológicas. Se a diversidade beta é alta e a composição de espécies responde às características do ambiente, como predito no modelo species sorting, reservas devem ser planejadas considerando-se o mosaico de condições ambientais (Legendre *et al.* 2005). Se a distribuição de espécies é autocorrelacionada no espaço e não possui associação com as características ambientais, conforme o esperado pelo modelo neutro, reservas devem apresentar o maior tamanho possível para contemplar uma alta diversidade de espécies (Legendre *et al.* 2005).

A composição das comunidades de aves varia substancialmente no tempo e espaço, já que aves são organismos muito móveis capazes de participarem de muitas interações. Além disso, as aves representam um grupo muito diverso com espécies que respondem prontamente a mudanças sutis no ambiente (Bennett e Owens 2006). Assim, este constitui um grupo apropriado para estudar questões ecológicas. Além disso, as aves podem ser consideradas como grupo indicador de qualidade ambiental, já que a avifauna presente em uma região pode refletir o estado de conservação desta (Turner 1996).

Dunas costeiras são ambientes geologicamente recentes, moldados por movimentos de regressão e transgressão do nível dos oceanos durante o pleistoceno (McLachlan 1991, Seeliger *et al.* 2004). Além disso, estes ecossistemas litorâneos são inerentemente pequenos em área e estreitos em forma, com uma ampla zona de bordas, o que permite a livre troca de espécies com a paisagem e/ou os habitats circundantes (McLachlan 1991). Estas características resultam em um pequeno número de endemismos e espécies exclusivas de dunas, sendo os grupos de espécies encontradas ali fortemente dependentes do ambiente circundante. No entanto, as condições estressantes resultantes da proximidade do mar, como o impacto de ondas e o spray salino, atuam como filtros limitantes que irão selecionar a partir do pool regional, as espécies aptas a ocorrerem ali. O relevo ondulante das dunas e o gradiente de distância do mar oferecem distintas possibilidades para o estabelecimento das espécies vegetais, o que por fim, resulta em habitats com distintos níveis de heterogeneidade ambiental (McLachlan 1991). O resultado é que a distribuição espacial da avifauna nas dunas costeiras provavelmente será influenciada mais pela estrutura da vegetação e os microclimas associados do que pelo relevo propriamente dito.

A localização costeira fez com que, historicamente, estes ambientes tenham sido muito degradados devido à atividade antrópica, sendo que nas últimas décadas, um rápido aumento no desenvolvimento urbano e atividades econômicas têm gerado fragmentação e diminuição da diversidade nesses habitats. Além disso, a biodiversidade encontrada nestes remanescentes, ainda é



pouco estudada. Neste sentido, os estudos ecológicos nesses ecossistemas de dunas são imprescindíveis para fornecer subsídios teóricos para a tomada de decisão relacionada ao uso dessas áreas. (McLachlan 2001).

### **3) OBJETIVOS**

Esse trabalho tem como objetivo principal avaliar a força dos processos nicho-relacionados e aqueles associados à neutralidade sobre a distribuição de espécies de aves em dunas do sul do Brasil. Os objetivos específicos são:

- 1) Fazer o levantamento das espécies de aves presentes nas dunas costeiras da Ilha de Santa Catarina e comparar com os dados de uma região de dunas localizada no extremo sul do Brasil;
- 2) Avaliar o papel das características ambientais locais, da distância espacial entre as amostras e seus efeitos compartilhados na determinação da diversidade beta;
- 3) Compreender os efeitos exercidos pela estrutura da vegetação no uso do ambiente pelas aves;
- 4) Fornecer subsídios empíricos sobre as teorias que devem nortear políticas públicas em relação ao uso das dunas costeiras no sul do Brasil.

### **4) MATERIAL E METODOLOGIA**

#### **4.1) Área de Estudo**

Este estudo foi realizado no estado de Santa Catarina, mais precisamente na Ilha de Santa Catarina. Ainda, foram acrescentados dados referentes a uma área de dunas na Praia do Cassino, município de Rio Grande, sul do estado do Rio Grande do Sul (RS). Estes dados foram coletados por Andros Gianuca em 2009, tendo como base a mesma metodologia utilizada em SC.

A Ilha de Santa Catarina é a parte insular da capital do Estado de Santa Catarina, localizada na região sul do Brasil, entre as coordenadas 27°10' - 27°50'S e 48°25' - 48°35'W, com uma área de 451 km<sup>2</sup>, formando um perímetro de 174,3 km. O clima é do tipo subtropical úmido, com temperatura média anual de 20°C, a precipitação total anual é de 1.400 mm, sem déficit hídrico (há excedente anual de 400-600 mm). A umidade relativa anual é de 80-85% e a altitude média de 46 m (SANTA CATARINA, 1986). A ilha apresenta uma grande variedade de ambientes naturais que compõem os seus vários ecossistemas. Possui 88 km de praias arenosas, 71 km de costões e restingas e 14,5 km de manguezais e marismas, além de lagoas e lagunas (Horn Filho *et al.* 2000).

Grande parte da vegetação da Ilha é constituída de dunas e manguezais, além de áreas de Floresta Ombrófila Densa.

A porção do estudo realizada em Santa Catarina ocorreu em quatro diferentes áreas de dunas costeiras de Florianópolis, as quais são isoladas entre si por morros, lagoas, e rodovias, formando um cenário de “ilhas de restingas”, com distintos níveis de isolamento.

1. A praia da Joaquina pertence ao Parque Municipal das Dunas da Lagoa da Conceição (CECCA, 1997), situa-se à leste da Ilha de Santa Catarina, com 3 km de comprimento. Possui aspecto bastante heterogêneo, sendo notória a presença de brejos alagados na maior parte do ano, topos de dunas desprovidas de vegetação e baixadas repletas de manchas arbustivas e herbáceas intercaladas.
2. A praia do Rio Tavares situa-se no distrito do Campeche, entre a praia da Joaquina e a praia do Campeche, na região sul da ilha. O cordão de dunas do Rio Tavares forma um sistema de dunas frontais retilíneas e paralelo ao mar. Há predomínio de herbáceas e pouco conteúdo de água superficial. As dunas do Rio Tavares e Joaquina são as menos isoladas entre si, formando na verdade, um continuum de condições ambientais que lentamente se alternam, sem nenhuma barreira física importante.
3. A praia do Moçambique situa-se no nordeste da Ilha, possui 12,5 km de extensão e faz parte do Parque Florestal do Rio Vermelho. Sua restinga, foi praticamente toda substituída, principalmente pelas espécies de pinheiros *Pinus elliottii* e *P. taeda*. A descaracterização da restinga pela introdução de pinus nesta praia é tida como um dos principais problemas de degradação nos ecossistemas costeiros da Ilha (Horn Filho *et al.* 2000). A porção de dunas do Moçambique amostradas e avaliadas neste estudo apresentava predomínio de vegetação herbácea estruturalmente homogênea, pouco conteúdo de água superficial, relevo pouco ondulante e presença de alguns pinheiros esparsamente distribuídos.
4. A praia do Santinho, localizada na região nordeste da ilha, entre o morro dos Ingleses (ao norte) e o morro do Calhau Miúdo (ao sul), possui 1,9 km de extensão (Horn Filho *et al.* 2000). A praia tem acesso pela rodovia estadual pavimentada SC-403, sendo bastante utilizada por turistas. As amostras alocadas nas dunas da praia do santinho variaram bastante em seu conteúdo de água superficial, areia exposta e presença de vegetação arbustiva.

Os dados referentes ao Rio Grande do Sul foram coletados em dunas costeiras localizadas na praia do Cassino, (32° 11' S, 52° 10' W), município de Rio Grande. O clima na região é subtropical, com chuvas distribuídas ao longo do ano, apesar das médias mensais de pluviosidade serem maiores durante o inverno e a primavera, enquanto meses de verão podem ser associados com déficit hídrico. A média anual de precipitação é cerca de 1200-1500 mm (Klein 1997).

O clima na região é subtropical, com chuvas distribuídas ao longo do ano, apesar das médias mensais de pluviosidade serem maiores durante o inverno e a primavera, enquanto meses de verão podem ser associados com déficit hídrico. A média anual de precipitação é cerca de 1200-1500 mm (Klein 1997).

As dunas costeiras da praia do cassino são principalmente estruturadas em três zonas distintas: as dunas embrionárias, as dunas primárias e os brejos (Seeliger *et al.* 2004). As dunas embrionárias são de pequeno porte, e representam a primeira barreira ao avanço do mar, sendo constantemente remodeladas pela ação das ondas, sobretudo em períodos de ressaca. Essas pequenas dunas embrionárias são fixadas por uma vegetação pioneira *Blutaparon portulacoides* (A. St. Hil.) Miers, enquanto que as dunas primárias são muito mais altas e cobertas pela principal vegetação fixadora das dunas, a gramínea perene *Panicum racemosum* (Beauv.) (Gianuca 1997). Outras espécies vegetais importantes no sistema de dunas são *Spartina ciliata* (Kunth.), *Hydrocotyle bonariensis* (Lam.), *Andropogon arenarius* (Hack.) e *Androtrichum trigynum* (Spr.) (Seeliger 2004). Duas espécies de arbustos introduzidas, *Acacia longifolia* (Andr.) Willd e *Tamarix gallica* (L.), podem ser encontradas de forma esparsa em alguns pontos. Durante períodos de alta pluviosidade, lagos sazonais se formam nas zonas de baixo relevo, como as áreas brejosas de vegetação densa. A área de dunas incluída na amostragem deste estudo corresponde a um sistema retilíneo de dunas que se estende por cerca de 25 km, sem importantes barreiras físicas ao longo deste percurso.

#### 4.2) Censo de Aves

Entre os dias 15 de fevereiro e 3 de março de 2012, foram percorridas 15 parcelas de 300 x 60 m em quatro diferentes áreas de dunas costeiras, sendo quatro no Rio Tavares, seis na Joaquina, duas no Moçambique e três no Santinho. Nas dunas da praia do Cassino, as coletas de dados foram realizadas por Andros Gianuca e ocorreram entre os dias 5 e 8 de fevereiro de 2009. Foram consideradas neste estudo o mesmo esforço amostral (15 parcelas) e as parcelas obtidas na praia do Cassino também foram padronizadas para 300 x 60 m em área. Para assegurar a independência amostral foi mantida uma distância mínima de 400m entre as parcelas. As contagens ocorreram sempre no turno da manhã e sob condições meteorológicas favoráveis à detecção das aves (*i.e.*, dias sem chuva, de pouco vento e boa visibilidade) (Bibby *et al.* 1993). Dois observadores percorreram simultaneamente as parcelas, em média em 12 minutos. Todas as aves detectadas no interior das parcelas foram contadas, exceto aquelas em vôo. Foi usado binóculo 12 x 50 para ajudar na identificação das aves e GPS para marcar as coordenadas das parcelas. A nomenclatura científica segue o Comitê de Classificação Sul Americano (SACC)

### 4.3) Variáveis Ambientais

As variáveis ambientais foram medidas nas mesmas parcelas descritas para o censo de aves. As variáveis ambientais avaliadas foram: altura e heterogeneidade da vegetação herbácea, cobertura de areia exposta, área coberta por arbustos e árvores e área coberta por água superficial.

A metodologia utilizada para medir a altura da vegetação nas dunas da praia do Cassino e nas dunas de Florianópolis foi um pouco diferente, no entanto, as duas metodologias podem ser consideradas robustas, por contarem com um universo amostral satisfatório para estudos ecológicos. As outras variáveis ambientais foram medidas da mesma forma nos dois locais de estudo.

Florianópolis - No interior de cada parcela, foram definidas cinco faixas transversais ao sentido principal da mesma e separadas entre si por uma distância de 50 metros. Em cada faixa foram colocados três quadrantes de 1m<sup>2</sup>, com uma distância de 15 m entre eles, totalizando 15 pontos de medidas por parcela (figura 1). Com o auxílio de uma trena, foram tomadas cinco medidas de altura da vegetação dentro de cada quadrante, sendo uma em cada vértice e outra no ponto central. A cobertura vegetal foi estimada visualmente em cada quadrante, sendo estimada a proporção de areia, vegetação verde e vegetação seca.

Praia do Cassino – Foram definidas 5 faixas transversais ao sentido principal das amostras e separadas entre si por uma distância de 50 metros. Em cada faixa transversal foi obtida uma medida a cada cinco metros, totalizando 12 medidas por faixa, desde uma borda da parcela até a outra (figura 2).

Para medir a diferença de heterogeneidade da vegetação, foi calculado o índice de heterogeneidade proposto por Wiens (1974), tendo como base os valores de altura da vegetação herbácea.

$$I.H = \sum(\max - \min) / \sum \text{médias}$$

Onde a diferença das alturas máxima e mínima dentro de cada faixa foi somada e dividida pelo somatório das médias de cada faixa.

A área coberta por arbustos e árvores, assim como a área coberta por água superficial, foi estimada visualmente em campo e foi convertida em porcentagem a partir de uma regra de três simples.

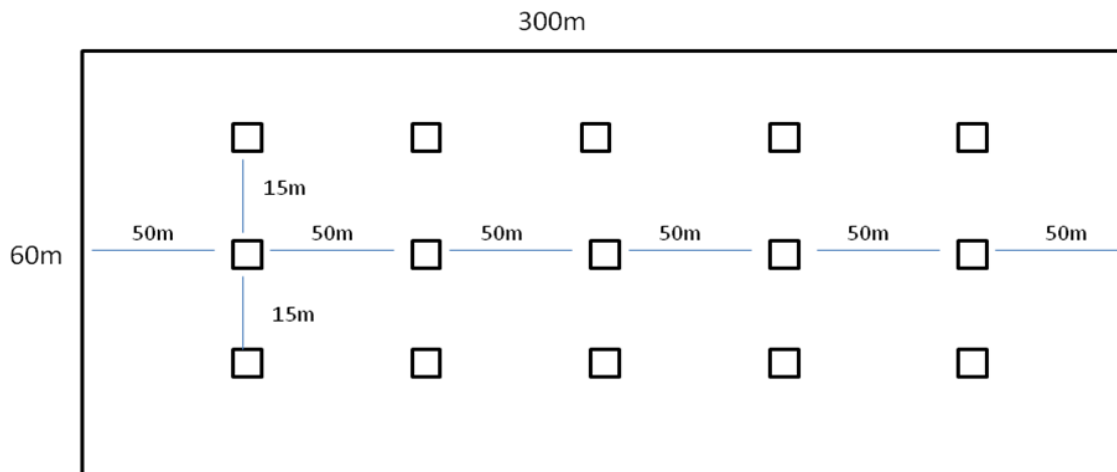
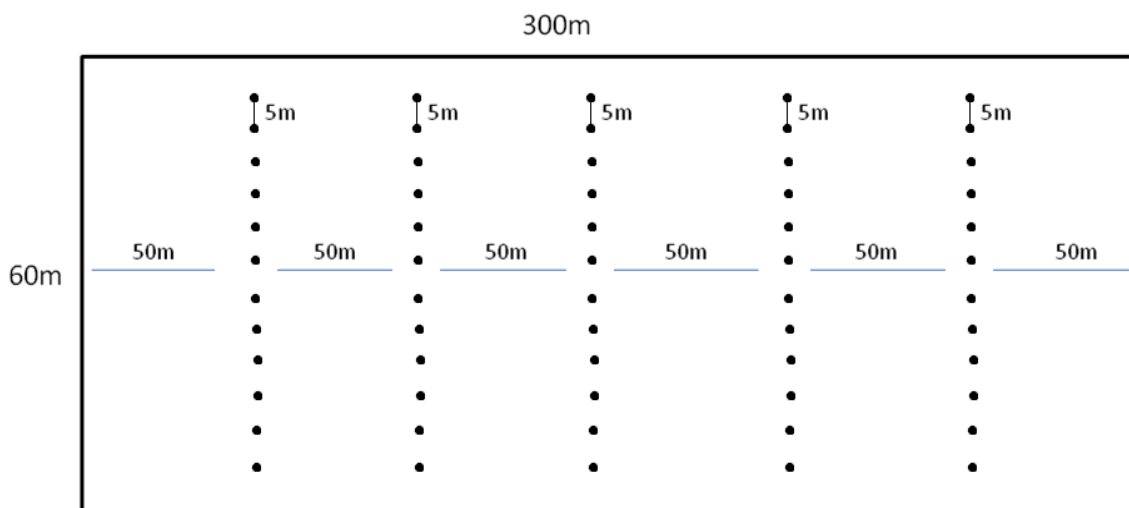


Figura 1: Método utilizado para medir altura, densidade e cobertura da vegetação, em Florianópolis. Os quadrados pequenos representam os 15 quadrantes de 1m<sup>2</sup>, colocados a cada 50 metros, com espaço de 15 metros lateralmente.



Figura

2: Método utilizado para medir altura, densidade e cobertura da vegetação na Praia do Cassino. Os pontos representam cada ponto de medida, obtidos a cada 5 metros.

### 3.4) Variáveis Temporais

A variação temporal, entre as datas de amostragem, foi medida considerando-se duas escalas, com duas variáveis temporais. O calendário *Julian date* foi usado para medir a variação entre os anos de amostragem, expressando o número total de dias a partir de 1 de janeiro até a data da amostragem (Anderson and Gribble 1998). A periodicidade diurna foi medida contabilizando o

tempo entre a hora do início da amostragem e a hora em que o sol nasceu (Anderson and Gribble 1998).

#### 4.5) Análises Estatísticas:

A suficiência da amostragem foi avaliada através de curvas de rarefação baseadas no método de *Mao Tau* (Colwell *et al.* 2005), com auxílio do programa EstimateS 7.5.(Colwell2005).

##### 4.5.1) Geração dos Descritores Espaciais

As coordenadas geográficas das amostras foram usadas para gerar variáveis espaciais, por meio do método *Principal Coordinates of Neighbour Matrices* (PCNM, (Borcard and Legendre 2002). Este é um meio de acessar a estrutura espacial em dados ecológicos em diferentes escalas, através de um gradiente de distâncias geográficas (Borcard and Legendre 2002). Os primeiros PCNMs gerados na análise representam escalas espaciais mais amplas, enquanto que os últimos cobrem estruturas espaciais mais finas. O método consiste em: 1) calcular uma matriz truncada das distâncias Euclidianas das coordenadas geográficas do local das amostras; 2) Fazer uma análise de Coordenadas Principais sobre a matriz truncada; 3) reter apenas os eixos com autovetores positivos. Assim, os PCNMs gerados podem ser usados como variáveis explanatórias em análises de regressão múltipla (Borcard and Legendre 2002). Para a análise de PCNM foi usado o software R.

##### 4.5.2) Partição de Variância

Para decompor a fração da diversidade beta explicada por fatores temporais, espaciais e pelas características ambientais das amostras foi utilizada partição de variância baseada em análise de redundância (RDA, Redundancy Analysis) (Borcard *et al.* 1992, Peres-neto *et al.* 2006). Para tanto, utilizou-se três matrizes explicatórias: ambiental, temporal e espacial. A matriz resposta utilizada foi a matriz de abundância de espécies nas amostras, após a apropriada transformação de Hellinger (Legendre and Gallagher 2001). Essas análises foram feitas no software R.

##### 4.5.3) Seleção de Variáveis Explicatórias

Com o objetivo de minimizar o erro Tipo I e a superestimação do total de variação explicada, foi realizada a seleção de variáveis explicatórias. Como proposto por Blanchet e colaboradores (2008), inicialmente foi rodado um teste global incluindo todas as variáveis explicatórias e ajustando o  $R^2$  de acordo com a correção de Ezekiel (Peres-Neto *et al.* 2006). O  $R^2_{adj}$  do teste global foi, então, usado como um segundo critério de seleção. Tendo como base o valor de  $\alpha = 0.005$  para selecionar quais variáveis seriam mantidas na análise seguinte, foi feita

a seleção de cada variável independentemente e o valor de  $P$  foi gerado (computando o  $R^2_{adj}$  quando  $P < 0,005$ ).

Se o  $R^2_{adj}$  do subgrupo pré-selecionado é menor do que aquele obtido no teste global, uma nova variável pode ser incluída na análise. Por outro lado, se o  $R^2_{adj}$  do subgrupo for maior do que o do teste global uma variável deve ser excluída.

## 5) RESULTADOS:

### 5.1) Riqueza em Espécies e Abundância

Em Florianópolis foram registrados 206 indivíduos, em um total de 32 espécies, enquanto que no Cassino foram registrados 132 indivíduos pertencentes a 16 espécies (Apêndice 1). *Athene cunicularia* e *Vanellus chilensis* foram as espécies mais frequentes em Florianópolis ( $Fr = 60\%$ ). As espécies mais abundantes em Florianópolis foram *Sicalis flaveola* ( $Nr = 15,5\%$ ) e *Zonotrichia capensis* ( $Nr = 13,5\%$ ). No cassino, as espécies mais frequentes e abundantes foram *Geositta cunicularia* ( $Fr = 80\%$   $Nr = 21,2\%$ ) e *Anthus hellmayri* ( $Fr = 73\%$   $Nr = 19,7\%$ ).

A amostragem foi suficiente para inventariar a maior parte dos táxons presentes no Cassino (Figura 3), mas para Florianópolis novas espécies poderiam ser ainda registradas com um incremento no esforço amostral.

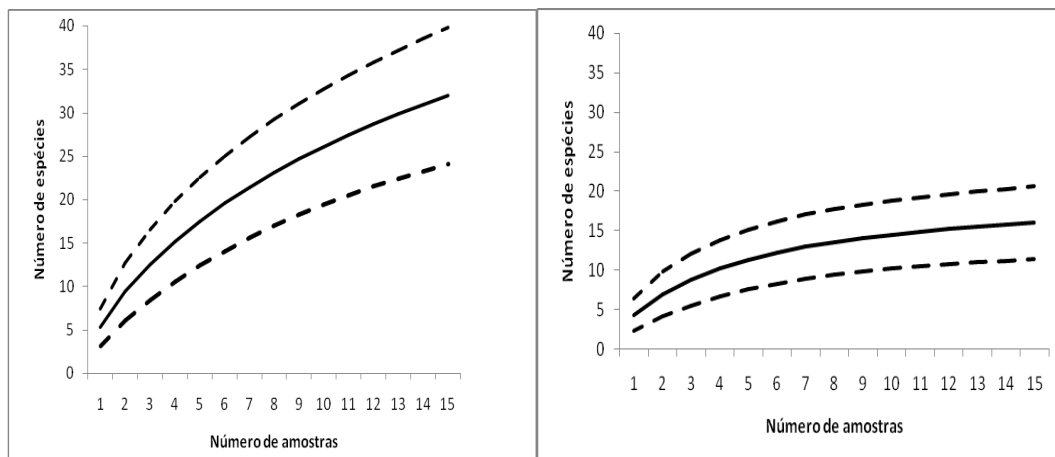


Figura 3: Curva de rarefação (linha preta) e desvio padrão (linha tracejada) para os dados de espécies em Florianópolis (esquerda) e na praia do Cassino (direita)

Conforme o diagrama de Whittaker (Figura 4), há maior dominância de espécies na comunidade de aves de dunas em Florianópolis, como ficou evidenciado pela curva mais inclinada no gráfico da esquerda, sugerindo maior número de espécies dominantes e raras. Assim, as populações de espécies de aves no Cassino parecem ser mais equitativas numericamente, com

poucas espécies muito dominantes, poucas espécies muito raras e várias apresentando níveis intermediários de abundância.

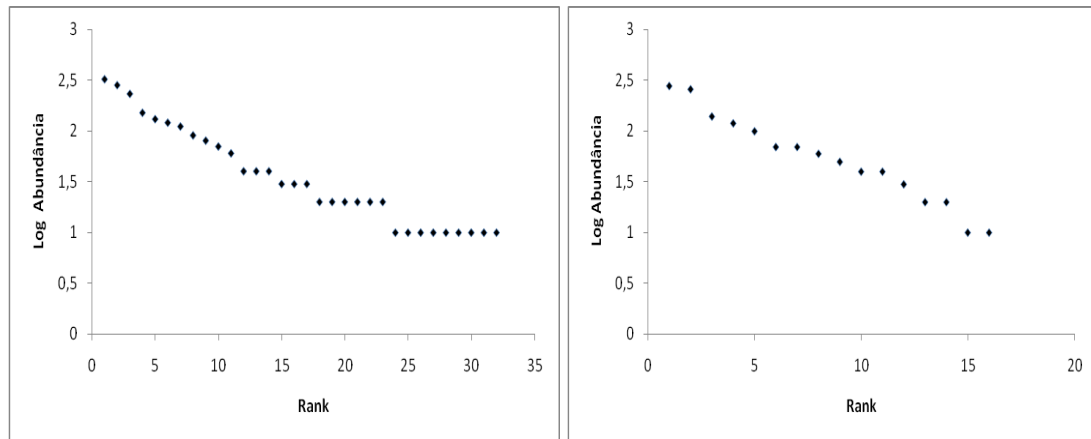


Figura 4: Diagrama de Whittaker para a assembleia de aves de Florianópolis (esquerda) e da praia do Cassino (direita).

## 5.2) Variáveis Explanatórias Seleccionadas

O processo de geração de descritores espaciais resultou em 14 PCNMs, contudo apenas um apresentou valores positivos (Moran I = 0.999,  $p = 0.001$ ). Este PCNM representa a variação espacial das amostras na maior escala possível, e foi utilizado nas análises posteriores de partição de variância.

Para os descritores ambientais, o processo de seleção resultou em três variáveis explanatórias, em ordem decrescente: altura da vegetação ( $F = 4.58$ ,  $p = 0.0001$ ); proporção de água superficial no interior das amostras ( $F = 1.83$ ,  $p = 0.0154$ ) e área coberta por arbustos e árvores ( $F = 1.85$ ,  $p = 0.0203$ ). Como o  $R^2_{adj}$  acumulado ( $R^2_{adj} = 0.162$ ) com estas três variáveis ambientais superou apenas ligeiramente àquele do teste global ( $R^2_{adj} = 0.156$ ), optou-se por mantê-las nas análises posteriores de partição de variância, já que não representam um grande incremento no Erro Tipo I (Borcard *et al.* 2011). Em relação à variação temporal, das duas variáveis temporais utilizadas (data e horas depois do sol nascer), apenas “data” foi mantida ( $F = 4.659$ ,  $p = 0.001$ ), pois a variável “horas após o sol nascer” não foi significativa sob o limiar de  $p = 0.05$  ( $p = 0.0836$ ).

## 5.3) Remoção do Efeito Temporal

Ao incluir as três matrizes explanatórias (ambiental, espacial e temporal), foi possível testar e remover o efeito do componente puramente temporal afetando a variação na composição de



espécies, o qual não foi significativo (efeito puramente temporal;  $p = 0.66$ ). Assim, foi possível seguir com as análises de partição de variância incluindo apenas processos ambientais e espaciais, tendo em vista que o tempo entre as coletas não afetaria significativamente os próximos resultados.

#### 5.4) Partição de Variância dos Componentes Ambientais e Espaciais

O total de explicação na variação da composição de espécies de aves nas restingas do sul do Brasil foi de aproximadamente 18%, considerando os processos relacionados tanto às características ambientais como espaciais ( $R^2_{adj} = 0.181$ ,  $p = 0.001$ ). A partição de variância resultou em três diferentes componentes de variação representados no Diagrama de Venn na figura 5. A variação na composição de espécies ocasionada pelo componente puramente ambiental (E), ou seja, variáveis ambientais independentes da estrutura espacial, representou cerca de 3% do total explicado ( $R^2_{adj}=0,031$ ,  $p= 0,051$ ), enquanto que a variação causada por processos puramente espaciais (S), foi de apenas 2%.

Por outro lado, o componente de variação ambiental espacialmente estruturado (SE), representado pelo efeito compartilhado das características ambientais e do arranjo espacial das amostras, explicou 13% da variação total.

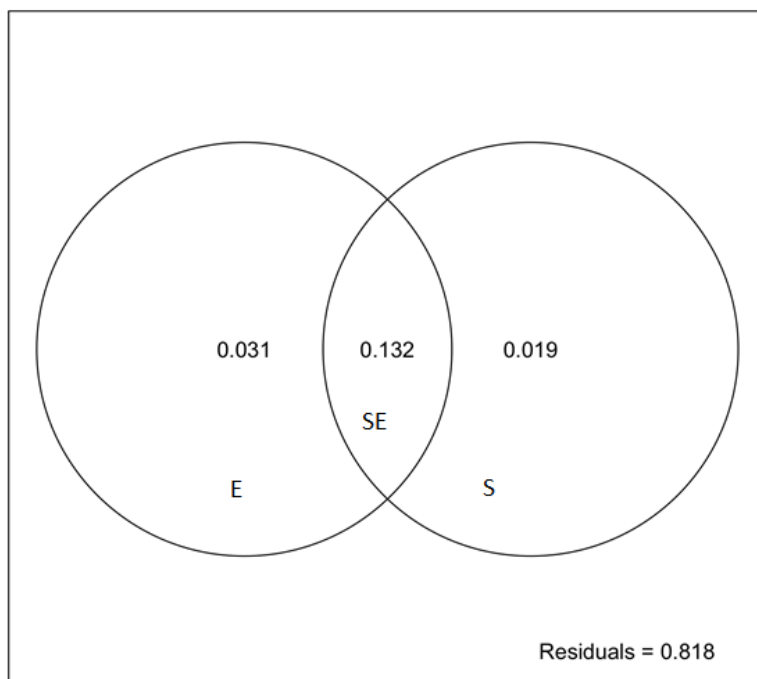


Figura 5: Diagrama de Venn representando a porcentagem de variação na composição de espécies explicada por: (E) variáveis ambientais; (S) descritores espaciais e (SE) efeitos compartilhados de fatores ambientais e espaciais.

Ao considerar em conjunto efeitos espaciais e ambientais, foi possível visualizar através de um gráfico gerado pela RDA (Fig. 6) que, as amostras situadas nas dunas da Praia do Cassino são caracterizadas por maior altura média da vegetação. Por outro lado, apesar das dunas de Florianópolis serem caracterizadas por vegetação herbácea de pequeno porte, parte das amostras obtidas apresentaram grande extensão de manchas arbustivas, enquanto outra parte apresentou bastante conteúdo de água superficial (Fig. 6).

Organizados ao longo do primeiro eixo da RDA, os melhores preditores da distribuição de espécies de aves nas dunas do sul do Brasil, desde Florianópolis até a Praia do Cassino, foram a altura da vegetação herbácea e o filtro espacial PCNM1 (Fig. 7), o qual representa a variação espacial em macro-escala. Já o segundo eixo da RDA foi melhor explicado pelo conteúdo de água superficial e área coberta por arbustos e arvoretas (Fig. 7).

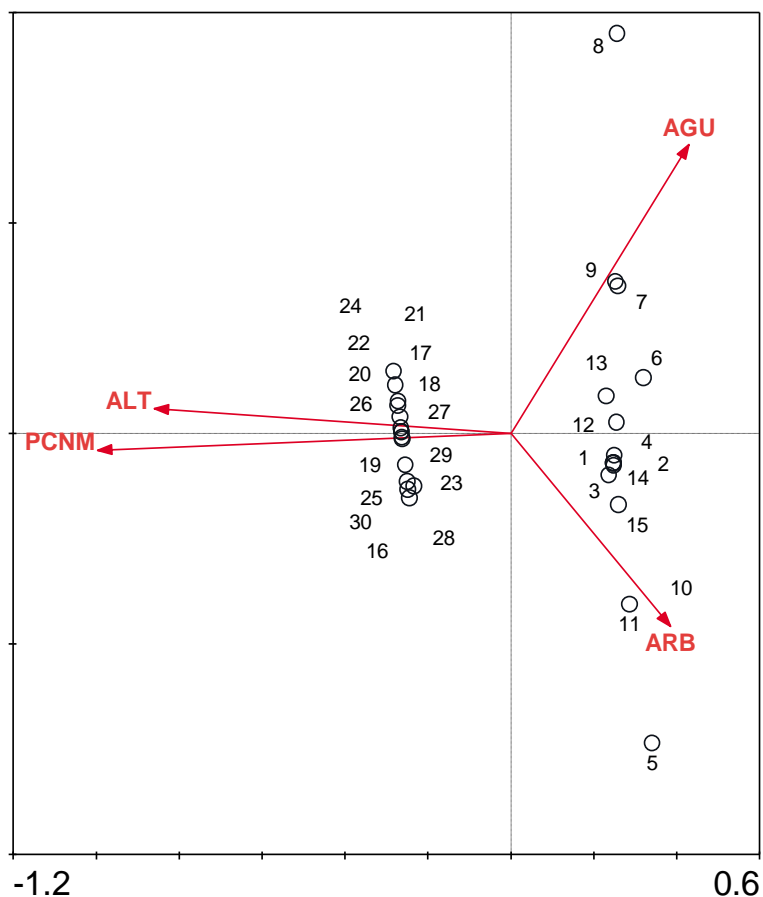


Figura 6: Gráfico da RDA mostrando a relação entre as variáveis preditoras e a distribuição das amostras alocadas em dunas do sul do Brasil. Números de 1-15 representam amostras nas dunas de Florianópolis; números de 16-30 são amostras na Praia do Cassino.

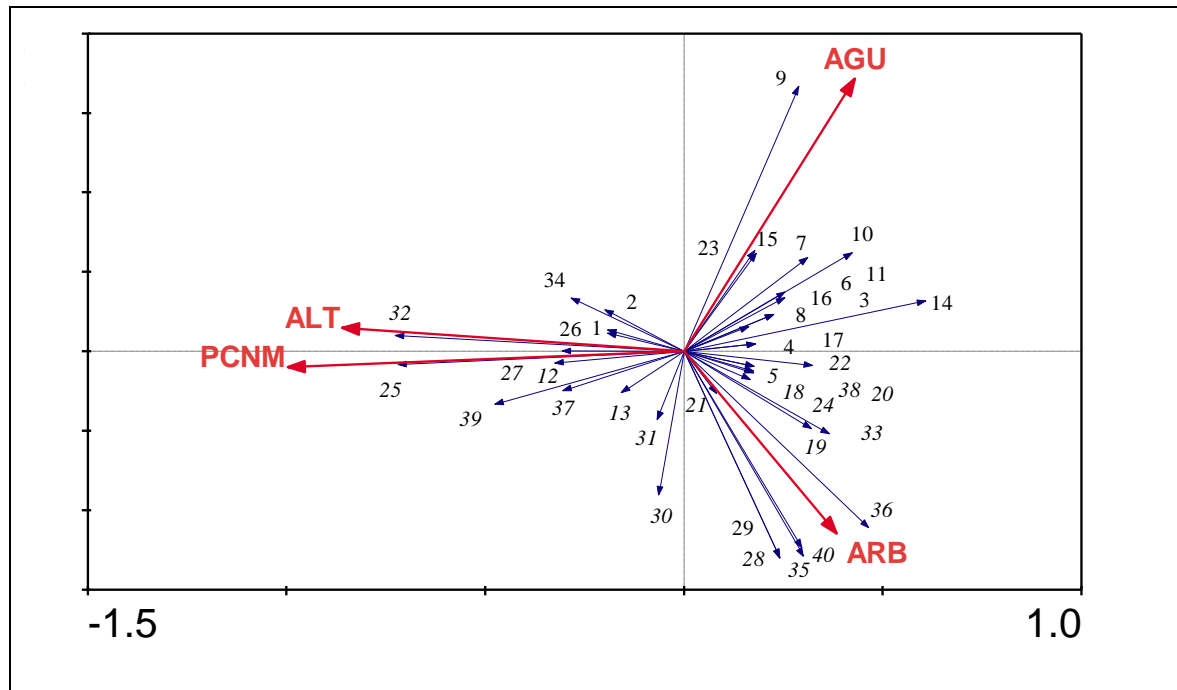


Figura 7: Diagrama de análise de redundância (RDA) incluindo descritores espaciais e variáveis ambientais, representando a distribuição das espécies de aves. Setas vermelhas representam variáveis preditoras e setas azuis representam espécies de aves. Abreviaturas referem-se à: ALT = altura média da vegetação; AGU = área de água superficial; ARB = área coberta por arbustos ou arvoretas; PCNM = filtro espacial. Números representam espécies em ordem taxonômica: 1. *Nothura maculosa*; 2. *Ardea cocoi*; 3. *Ardea alba*; 4. *Egretta thula*; 5. *Butorides striata*; 6. *Syrigma sibilatrix*; 7. *Plegadis chihi*; 8. *Coragyps atratus*; 9. *Anas georgica*; 10. *Amazonetta brasiliensis*; 11. *Milvago chimachima*; 12. *Milvago chimango*; 13. *Poliborus plancus*; 14. *Vanellus chilensis*; 15. *Pluvialis dominica*; 16. *Tringa melanoleuca*; 17. *Himantopus melanurus*; 18. *Zenaida auriculata*; 19. *Columbina talpacoti*; 20. *Lepdotila sp.*; 21. *Guira guira*; 22. *Athene cunicularia*; 23. *Chordeiles nacunda*; 24. *Colaptes campestris*; 25. *Geositta cunicularia*; 26. *Furnarius rufus*; 27. *Xolmis irupero*; 28. *Pitangus sulphuratus*; 29. *Tyrannus savana*; 30. *Troglodytes musculus*; 31. *Mimus saturninus*; 32. *Anthus hellmayri*; 33. *Anthus lutescens*; 34. *Anthus correndera*; 35. *Geothlypis aequinoctialis*; 36. *Zonotrichia capensis*; 37. *Ammodramus humeralis*; 38. *Sicalis flaveola*; 39. *Embernagra platensis*; 40. *Estrilda astrild*.

De acordo com o gráfico gerado pela RDA (Fig. 7), foi possível observar que as espécies *Anthus hellmayri*, *Geositta cunicularia* e *Embernagra platensis* foram influenciadas positivamente pela altura da vegetação e ao descritor espacial PCNM. Por outro lado, as espécies *Anas georgica*, *Amazonetta brasiliensis*, *Pluvialis dominica* e *Plegadis chihi* foram fortemente associadas à presença de água superficial. As espécies *Geothlypis aequinoctialis*, *Zonotrichia capensis*, *Estrilda astrild*, *Pitangus sulphuratus* e *Tyrannus savana* foram fortemente relacionadas com a extensão das manchas arbustivas nas dunas.

## 6) DISCUSSÃO:

A maior parte da variação encontrada na composição de espécies foi explicada pelo efeito compartilhado de descritores espaciais e ambientais, representando a fração das variáveis ambientais e da distribuição de espécies de aves que é estruturada espacialmente. Este resultado corrobora a perspectiva “Species sorting” ao demonstrar que as espécies são afetadas direta ou indiretamente pelas condições ambientais (Leibold *et al.* 2004, Cottenie 2005).

Diferente do modelo neutro, a hipótese “species sorting” não considera a autocorrelação espacial na composição de espécies como principal padrão estruturador das metacomunidades, a menos que o gradiente ambiental seja também autocorrelacionado no espaço (Cottenie 2005, Holyoak *et al.* 2005, Meynard e Quinn 2008), o que resulta na fração de explicação da diversidade beta compartilhada por efeitos ambientais e espaciais, como foi o caso encontrado no presente estudo.

A hipótese “species sorting” prevê que diante de altas taxas de dispersão, fatores ambientais são a principal causa de variação na composição de espécies entre comunidades locais dentro de uma metacomunidade (Keddy 1992, Leibold *et al.* 2004). Uma análise mais cautelosa do conjunto de dados permitiu observar que todas as espécies encontradas em Florianópolis podem ocorrer no Cassino, e a diferença na composição de espécies encontrada nas amostras, ocorre devido às diferenças nas características ambientais. Por exemplo, as espécies *Anas georgica*, *Amazonetta brasiliensis*, *Plegadis chihi*, *Egretta thula* e *Himantopus melanurus*, foram registradas apenas nas amostras de Florianópolis, porém, é conhecido que elas também ocorrem no Rio Grande do Sul, inclusive na Praia do Cassino (Belton 1994, Gianuca 2012). Como essas espécies possuem afinidade com locais alagadiços, próximos a banhados e margens de lagos (Belton 1994, Sick 2001), é provável que a ausência dessas espécies nas dunas do Cassino durante a realização deste estudo seja consequência da falta de condições adequadas, uma vez que não foi verificada a presença de água superficial nas dunas do Cassino durante o período de amostragem, diferentemente do que ocorreu para Santa Catarina, especialmente nas dunas da Joaquina.

Por outro lado, as espécies *Anthus hellmayri*, *Anthus correndera* e *Embernagra platensis*, encontradas no Cassino, não possuem registro em Florianópolis (Naka e Rodrigues 2000). Assim, não se sabe se estas espécies estão restritas ao Cassino, devido à falta de condições ambientais adequadas para sua ocorrência ou porque há restrições a dispersão destas espécies, uma vez que elas não fazem parte do pool de espécies da Ilha de Santa Catarina.

A teoria de Metacomunidades é embasada em um campo teórico sólido, porém pesquisas empíricas projetadas objetivamente para testar suas previsões são raras e tendem a apresentar

resultados contraditórios. Por exemplo, Meynard e Quinn (2008) relataram “*species sorting*” como a principal dinâmica estruturadora de metacomunidades de aves em floresta temperada no Chile. Um padrão oposto foi encontrado em uma metacomunidade de aves na Austrália, onde foi relatada uma forte importância do componente puramente espacial sobre a diversidade beta (Driscoll e Lindenmayer 2009).

Cottenie (2005) sugere que o modelo neutro atua principalmente em comunidades de regiões tropicais, enquanto que “*species sorting*” é predominante em regiões temperadas. Ainda de acordo com o autor, quanto menor a escala espacial considerada, maior será a ocorrência de processos relacionados ao nicho determinando a composição de espécies, principalmente quando se considera um táxon com alta capacidade de dispersão. Ao avaliar a dinâmica de metacomunidades de aves em ambientes costeiros considerando uma escala espacial pequena, Gianuca (2012), relatou predomínio do efeito puramente ambiental na determinação da composição de espécies. Por outro lado, os resultados obtidos no presente estudo demonstram que, em uma escala maior (aproximadamente 700 Km), o componente espacial ganha importância, afetando as características ambientais das dunas, especialmente quanto à estrutura da vegetação e ao conteúdo de água, resultando em um gradiente ambiental estruturado espacialmente. Assim o efeito compartilhado de descritores espaciais e ambientais foi predominante na determinação da composição de espécies, e o componente puramente ambiental teve um papel apenas secundário.

A grande quantidade de variação inexplicada, obtida neste estudo, pode ser resultado de fenômenos que não foram incluídos na análise, como a disponibilidade de alimento, interações agonísticas e efeito de predadores (Jones 2001). Uma possível fonte de viés, pode ter ocorrido em função da diferença na metodologia usada para a medir a altura da vegetação na praia do Cassino e em Florianópolis. No entanto, mudanças marcantes na qualidade dos habitats, como o conteúdo de água superficial e a presença e extensão de manchas arbustivas foram medidas da mesma maneira nos dois locais de estudo, e representaram uma fonte de variação ambiental importante, contribuindo para caracterizar os tipos de dunas e suas avifaunas associadas.

Por fim, podemos concluir que as dinâmicas da metacomunidade estudada, são resultantes principalmente de processos ambientais, como predito pela hipótese “*species sorting*”, apesar do papel do espaço afetando os tipos de dunas em uma escala ampla como esta ser igualmente importante. Entretanto, este resultado não implica que não haja restrições à dispersão dos taxa, já que efeitos de confusão na interpretação dos resultados podem ocorrer devido à grande fração de explicação ambiental e espacial sobreposta.

Tendo em vista que “*species sorting*” é a principal dinâmica estruturadora da metacomunidade estudada, o planejamento de reservas ecológicas nas áreas de dunas costeiras no

sul do Brasil, devem ser feitos levando em conta o contraste de características ambientais presentes nos ambientes de dunas, considerando-se também, as características ambientais e o pool de espécies típicos de cada região, para que o maior número possível de espécies seja contemplado. Portanto, a criação de pequenas áreas de unidades de conservação ao longo de toda a costa, desde Santa Catarina até o Rio Grande do Sul, é de extrema importância para a preservação da diversidade de aves.

Apêndice 1.1: Composição das espécies de aves nas dunas costeiras de Florianópolis e sua abundância (N) e frequência relativa (Fr)

Táxon	Acrônimo	Nome popular	N	F. rel
<i>Ardea alba</i>	Aal	garça-branca-grande	1	6.7%
<i>Egretta thula</i>	Eth	garça-branca-pequena	1	6.7%
<i>Butorides striata</i>	Bst	socozinho	1	6.7%
<i>Syrigma sibilatrix</i>	Ssi	maria-faceira	2	13.3%
<i>Plegadis chihi</i>	Pch	maçarico-preto	9	20.0%
<i>Coragyps atratus</i>	Cat	urubu-de-cabeça-preta	15	6.7%
<i>Anas georgica</i>	Age	marreca-parda	7	20.0%
<i>Amazonetta brasiliensis</i>	Abr	pé-vermelho	12	26.7%
<i>Milvago chimango</i>	Mcho	chimango	2	13.3%
<i>Milvago chimachima</i>	Mcha	chimachima	2	6.7%
<i>Poliborus plancus</i>	Ppl	carcará	3	13.3%
<i>Vanellus chilensis</i>	Vch	quero-quero	13	60.0%
<i>Pluvialis dominica</i>	Pdo	batuiraçu	2	6.7%
<i>Tringa melanoleuca</i>	Tme	maçarico-grande-de-perna-amarela	2	6.7%
<i>Himantopus melanurus</i>	Hme	pernilongo	4	6.7%
<i>Zenaida auriculata</i>	Zau	pomba-de-bando	1	6.7%
<i>Columbina talpacoti</i>	Cta	Rolinha-roxa	4	20.0%
<i>Leptotila rufaxilla</i>	Lru	juriti-gemedeira	1	6.7%
<i>Guira guira</i>	Ggu	anu branco	11	20.0%
<i>Athene cunicularia</i>	Acu	coruja-buraqueira	23	60.0%
<i>Podager nacunda</i>	Pna	Corução	1	6.7%
<i>Colaptes campestris</i>	Cca	pica-pau-do-campo	1	6.7%
<i>Geositta cunicularia</i>	Gcu	curriqueiro	2	6.7%
<i>Pitangus sulphuratus</i>	Psu	bem-te-vi	1	6.7%
<i>Tirannus savana</i>	Tsa	tesourinha	1	6.7%
<i>Troglodytes musculus</i>	Tmu	corruíra	6	26.7%
<i>Mimus saturninus</i>	Mas	sabiá-do	8	26.7%
<i>Anthus lutescens</i>	Alu	caminheiro-zumbidor	4	26.7%
<i>Geothlypis aequinoctialis</i>	Gae	pia-cobra	3	13.3%
<i>Zonotrichia capensis</i>	Zca	tico-tico	28	53.3%
<i>Sicalis flaveola</i>	Sfl	canário-da-terra	32	6.7%
<i>Estrilda astrild</i>	Eas	bico-de-lacre	3	13.3%

Apêndice 1.2: Composição das espécies de aves nas dunas costeiras do Cassino e sua abundância (N) e frequência relativa (Fr)

Táxon	Acrônimo	Nome vernáculo	N	F. Rel
<i>Nothura maculosa</i>	Nma	codorna-amarela	1	6.7%
<i>Ardea cocoi</i>	Acoc	garça-moura	2	6.7%
<i>Poliborus plancus</i>	Ppl	carcará	5	20.0%
<i>Milvago chimango</i>	Mch	chimango	10	33.3%
<i>Guira guira</i>	Ggu	anu-branco	12	6.7%
<i>Athene cunicularia</i>	Açu	coruja-do-campo	7	26.7%
<i>Geositta cunicularia</i>	Gcu	curriqueiro	28	80.0%
<i>Furnarius rufus</i>	Fru	joão-de-barro	1	6.7%
<i>Xolmis irupero</i>	Xir	noivinha	3	20.0%
<i>Pitangus sulphuratus</i>	Psu	bem-te-vi	7	26.7%
<i>Troglodytes musculus</i>	Tmu	corruíra	6	33.3%
<i>Anthus correndera</i>	Aco	caminheiro-de-espora	2	13.3%
<i>Anthus hellmayri</i>	Ahe	caminheiro-de-barriga-acanelada	26	73.3%
<i>Zonotrichia capensis</i>	Zca	tico-tico	4	20.0%
<i>Embernagra platensis</i>	Epl	sabiá-do-banhado	14	40.0%
<i>Ammodramus humeralis</i>	Ahu	tico-tico-do-campo	4	20.0%



## 7) Referências:

- Anderson, M. J.; Gribble, N.A. Partitioning the variation among spatial, temporal and environmental components in a multivariate data set. *Australian journal of ecology*. 23:158-167. 1998
- Begon, M.; Townsend, C. R.; J. L. Harper. *Ecologia: de indivíduos a ecossistemas*. Porto Alegre: Artmed. 2008
- Belton, W. Aves do Rio Grande do Sul, distribuição e biologia. Editora Unisinos, São Leopoldo, Brasil. 1994.
- Bennett, P. M.; Owens. I. P. F. Evolutionary ecology of birds: Life histories, Mating Systems and Extinction. Oxford University Press, New York. 2006
- Blanchet F. G.; Legendre P.; Borcard D. Forward selection of explanatory variables. *Ecology* 89, 2623-2632. 2008
- Borcard, D.; Gillet, F.; Legendre, P. **Numerical Ecology with R**. Springer. 2011.
- Borcard, D.; Legendre, P.; Drapeau, P. Partialling out the spatial component of ecological variation. **Ecology**. 73:1045–1055. 1992.
- Borcard, D.; Legendre, P. All-scale spatial analysis of ecological data by means of principal coordinates of neighbour matrices. *Ecol. Model.* 153, 51-68. 2002.
- CECCA - Centro de Estudos de Cultura e Cidadania. **Unidades de conservação e áreas protegidas da Ilha de Santa Catarina: caracterização legislação**. Insular. Florianópolis, 1997.
- Colwell, R. K. *EstimateS: Statistical estimation of species richness and shared species from samples*. Version 7.5. User's Guide and application published at: <http://purl.oclc.org/estimates>. 2005
- Cottenie K. Integrating environmental and spatial processes in ecological community dynamics. *Ecology Letters* 8, 1175-1182. 2005
- Driscoll, D. A.; Lindenmayer D. B. Empirical tests of metacommunity theory using an isolation gradient. *Ecol. Monographs* 79, 485-501. 2009
- Gianuca, N. M. A fauna das dunas costeiras do Rio Grande do Sul. *Oecologia Brasiliensis* 3:121- 133. 1997.

- Gianuca, A. T. Análise de gradientes ecológicos: distribuição espacial e regras de montagem das comunidades de aves na litoral sul do Brasil. Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis. 2012.
- Holyoak, M.; Leibold, M. A.; Holt, R. D. Metacommunities. Spatial dynamics and ecological communities. University of Chicago Press, Chicago, Illinois, USA. 2005
- Horn Filho, N. O.; Leal, P. C.; Oliveira, J. S. **Ilha de Santa Catarina, SC – Brasil: 88 km de praias arenosas**. Editora UFSC. Florianópolis, 2000.
- Hubbell, S. P. The Unified Neutral Theory of Biodiversity and Biogeography. Princeton University. Press, Princeton, NJ. 2001.
- Jones. Habitat Selection Studies in Avian Ecology: A Critical Review. *Auk* 118, 557-562. 2001
- Keddy, P. A. Assembly and response rules: two goals for predictive community ecology. *Journal of Vegetation Science*. 3:157-164. 1992.
- Klein, A. H. F. Regional Climate, p. 5-7. In U. Seeliger, C. Odebrecht, and J. P. Castello [eds.], *Subtropical Convergence Environments: the Coast and Sea in the Southwestern Atlantic*. Springer-Verlag, Berlin. 1997.
- Legendre, P.; Bocard, D.; Peres, P.R. Analyzing beta diversity: partitioning the spatial variation of community composition data. *Ecological Monographs*. 75: 435–450. 2005.
- Legendre, P.; Gallagher, E. D. Ecologically meaningful transformations for ordination of species data. *Oecologia*. 129:271-280. 2001.
- Leibold, M. A.; Holyoak, M.; Mouquet, N.; Amarasekare, P.; Chase J.M.; Hoopes, M.F.; Holt, R.D.; Shurin, J. B.; Law, R.; Tilman, D.; Loreau, M.; Gonzalez, A. The metacommunity concept: a framework for multi-scale community ecology. *Ecology letters*. 7: 601-613. 2004.
- McLachlan, A. Ecology of coastal dune fauna. *Journal of arid Environments*. 21: 229-243. 1991.
- Meynard, C. N.; Quinn, J. F. Bird metacommunities in temperate south american Forest: vegetation structure, área, and climate effects. *Ecology*. 89:981-990. 2008
- Naka, L. N.; Rodrigues, M. **Aves da Ilha de Santa Catarina**. Editora da UFSC. Florianópolis. 2000.

- Peres-Neto P. R.; Legendre P.; Dray S.; Borcard D. Variation partitioning of species data matrices: estimation and comparison of fractions. *Ecology* 87, 2614-2625. 2006
- Rosindell J.; Hubbell S. P.; Etienne R. S. The Unified Neutral Theory of Biodiversity and Biogeography at age ten. *Trends Ecol. Evol.* 26, 340-348. 2011
- SANTA CATARINA. **Atlas de Santa Catarina**. Governo do Estado de Santa Catarina. Gabinete de Planejamento e Coordenação Geral. Rio de Janeiro, pp. 61-67. 1986
- Seeliger, U. C.; Cordazzo; Barcello L. Areias do Albardão: um guia ecológico ilustrado do litoral no extremo sul do Brasil. *Ecoscientia*, Rio Grande. 2004
- Sick, H. **Ornitologia Brasileira**. Editora Nova Fronteira. Rio de Janeiro. 2001.
- Turner, I. M. Species loss in fragments of tropical rain forest: a review of the evidence. *Journal of Applied Ecology*. 33: 200-209. 1996.
- Whittaker, R. H. Vegetation of the Siskiyou Mountains, Oregon and California. *Ecological Monographs*. 30:279– 338. 1960.
- Wilson, D. S. Complex interactions in metacommunities, with implications for biodiversity and higher levels of selection. *Ecology*. 73: 1984-2000 1992.
- Wiens, J. A. Habitat heterogeneity and avian community structure in North American grasslands. *The American Midland Naturalist*. 1: 195-203. 1974

